

Высокочастотная балансировка

Динамическая балансировка вращающихся элементов является важным аспектом производства и ремонта в турбомашиностроении. Несбалансированный вращающийся элемент может привести к полному выходу оборудования из строя, что не позволит запустить производство в установленные сроки. Кроме того, несбалансированный элемент может вызвать внутренние повреждения, снижающие производительность оборудования и его надежность, увеличит расходы на эксплуатацию и обслуживание.



1 Большая паровая турбина для электростанции проходит низкоскоростную балансировку в сборочном цеху. Стенд для низкоскоростной балансировки можно использовать для испытания вращающихся установок весом до 50 тонн при 500 об/мин

Любой ротор является частью более сложной системы – генератора, редуктора, компрессора, двигателя, турбины или иного вращающегося механического узла.

Наличие дисбаланса в одном из вращающихся элементов системы может привести к вибрации агрегата в целом. Это, в свою очередь, приведет к избыточному износу подшипников, вкладышей, валов, шпинделей, шестерен, а также конструктивных элементов. При вибрации на опорные элементы и корпусные детали действуют знакопеременные нагрузки, и, в конечном итоге, это может привести к полному отказу оборудования. Поэтому большинство клиентов обращаются к нам за высокочастотной балансировкой вращающихся деталей на максимальной скорости не потому, что их интересуют технические аспекты процесса или модальный

анализ. Они стремятся к снижению рисков, связанных с эксплуатацией и обслуживанием высокоскоростного вращающегося оборудования, к повышению надежности, работоспособности, рентабельности и эффективности своих предприятий.

Недорогая подстраховка

Балансировка ротора на рабочей частоте при проведении капитального ремонта считается сравнительно недорогой операцией, гарантирующей работоспособность механизма.

Однако в заводских условиях балансировка ротора обычно выполняется на пониженной частоте вращения – обычно ниже 1500 об/мин – в основном из-за того, что оснащение цеха стендами для высокочастотной балансировки требует больших денежных и временных затрат.

Низкочастотная балансировка проводится для большинства типов и размеров механизмов. Различаются только контролируемые элементы и используемые измерительные системы.

Большинство людей хорошо знают балансировочную машину, используемую для балансировки автомобильных колес, в которой грузик крепится к диску колеса для компенсации дисбаланса. Сбалансированное колесо обеспечивает водителю ощущение комфорта на дороге, независимо от скорости движения автомобиля.

Для низкоскоростных роторов с жестким валом, не имеющих негативной истории эксплуатации, обычно достаточно низкочастотной балансировки в производственном помещении **[1]**. Такие роторы обычно работают на скоростях, не достигающих первой критической скорости вращения **[2]**.

Большинство роторов этого класса вращается с частотой, ниже частоты, на которой проявляется влияние второго критического режима, так называемой первой изгибной волны, при которой вал принимает форму синусоиды с узловыми точками, расположенными за пределами центрального сечения радиального подшипника скольжения, как показано на [3].

Обязательное требование для высокоскоростных роторов

Балансировка на рабочей частоте необходима для отдельных роторов, работающих ниже второй критической скорости, и обязательна для каждого ротора, вращающегося со скоростью равной либо превышающей вторую критическую.

Некоторые из таких высокоскоростных роторов требуют также дополнительной корректировки остаточного дисбаланса при низких частотах; это необходимо для того, чтобы ротор мог преодолеть первую критическую скорость без чрезмерного отклонения от оси.

Чрезмерное отклонение вала в процессе пуска и остановки влечет за собой увеличение зазоров в уплотнителях вала, а также может привести к повреждению подшипников, к увеличению трения между вращающимися поверхностями и элементами неподвижных деталей корпуса.

Несмотря на то, что все производители машин и оборудования имеют собственные балансировочные стенды для балансировки оборудования на рабочих частотах, последние, в основном, используются для балансировки новых роторов в процессе производства и лишь изредка – для оказания своим клиентам услуг при послепродажном обслуживании.

Независимые ремонтные компании могут получить услуги высокочастотной балансировки по рыночным ценам лишь на нескольких таких стендах. Поскольку объем заказов на поставку нового оборудования сейчас высок как никогда, производители

оборудования в настоящее время особенно сложно включить в план работы собственных балансировочных стендов дополнительные заказы в соответствии с графиком капитальных ремонтов заказчика.

Обширный опыт

Подразделение Sulzer Turbo Services производит капитальный ремонт разнообразных вращающихся узлов. Проведение балансировки на рабочих частотах выполняется либо по желанию клиента, как одна из ремонтных операций согласованного перечня, либо когда это требуется исходя из истории эксплуатации механизма [4].

Sulzer Turbo Services также принимает участие в модернизации оборудования, когда положительный эффект изменения конструкции уплотнителей и подшипников можно продемонстрировать на стенде до их ввода в эксплуатацию.

Для наилучшего обслуживания своих клиентов Sulzer Turbo Services имеет два скоростных балансировочных стенда – один из крупнейших и самых современных стендов в США, находящийся неподалеку от Хьюстона, в штате Техас [5], и второй стенд в г. Винтертур, в Швейцарии.

Оба стенда проходят регулярные технические проверки и модернизацию для поддержания их в хорошем рабочем состоянии.

Эти два специализированных балансировочных стенда обеспечивают надежное и своевременное обслуживание всех шести региональных ремонтных компаний Sulzer Turbo Services, а также выполнение прямых заказов производителей оборудования и наших клиентов.

Оба стенда оборудованы самым современным электронным и диагностическим оборудованием, обеспечивающим возможность выявления и устранения неисправностей.

Генераторы

Одна из областей применения таких стендов, которую мы разработали специально для генераторов – процедура, позволяющая нам выявлять короткозамкнутые витки и анализировать работу генератора при помощи зонда магнитного потока в воздушном зазоре. Зонд воспринимает изменения в плотности радиального потока по мере того, как поверхность ротора проходит мимо него.

Полученная форма волны покажет наличие одного или нескольких короткозамкнутых витков за счет усиления кратковременных изменений потока при рабочей частоте вращения поля.

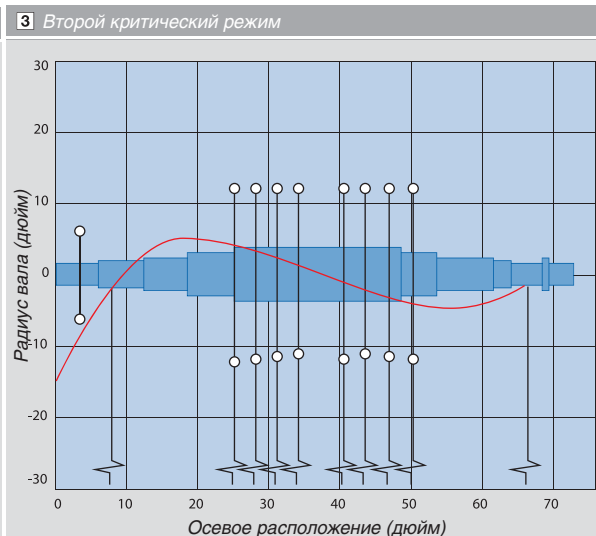
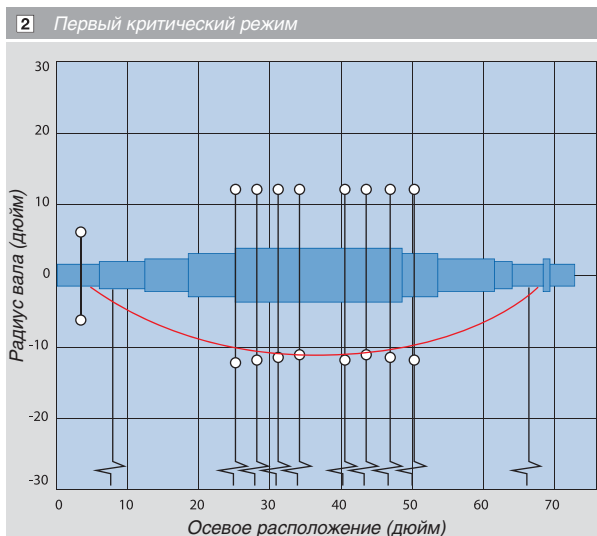
Для выполнения данной процедуры генератор работает с обычной рабочей скоростью и с обычным возбуждением.

Данная процедура позволяет выявить неполадки, способные нарушить правильную работу и образовать небольшие участки перегрева поля генератора, которые невозможно обнаружить в обычных условиях до запуска оборудования. В большинстве случаев устранение этих проблем на месте эксплуатации может потребовать вынужденного останова оборудования.

Научно-исследовательская база

Благодаря своим уникальным характеристикам, наши балансировочные стенды также используются научно-исследовательскими отделами компаний Sulzer Turbo Services, Sulzer Metco Surface Coatings и научно-исследовательским центром Sulzer Innotec для разработки и эксплуатационных испытаний различных проектов уплотнительных систем.

Испытания включают в себя измерения срока службы различных покрытий, наносимых на сегментированные уплотнительные кольца для использования в следующем поколении паровых и газовых турбин.



Некоторые элементы, влияющие на баланс ротора

Существуют множество различных конструкций роторов, предназначенных для работы на газе или на жидкости. Поскольку на его части действуют различные нагрузки, используются различные конструкционные материалы.

Некоторые примеры приведены ниже:

- Цельные поковки для паровых турбин и расширителей горячего газа
- Кованые валы, на которые в горячем виде насаживаются диски или рабочее колесо
- Кованые валы, на которые в горячем виде насаживаются все диски, полумуфты и прочие детали
- Кованые диски или блоки дисков, скрепленные болтами друг с другом, с одним центральным или несколькими периферийными болтовыми стяжками при помощи сцепления с V-образными зубьями или сцеплением с круговыми зубьями, передающими крутящий момент между дисками и на обрезанные концы вала

- Сварные цилиндрические узлы – их можно найти в очень больших паровых турбинах или высокоскоростных осевых роторах компрессоров, когда сердцевина вала выполнена из полых цилиндров, спаянных между собой лазером роликовыми сварными швами для уменьшения веса узла ротора
- И, наконец, комбинация вышеуказанных методов.

Возбуждение вибрационных режимов усложняется применением различных материалов, их разным качеством, различными размерами и жесткостью ротора.

Любой дисбаланс, выявленный по всей длине ротора, который совпадает с отклонением в форме колебаний, приводит к усилению отклонения в этих точках. Если его не исправить, такой дисбаланс создает дополнительное вибрационное воздействие на подшипник.

Смещение отдельных дисков или групп дисков по длине вала или вне центральной оси в процессе работы маши-

ны может создать определенные проблемы, особенно если смещение массы усиливается.

Процесс обеспечения качества

При производстве нового ротора его необходимо балансировать на рабочей частоте – это одна из операций, обеспечивающих его качество.

Исходные балансировочные работы дают владельцу базовую кривую ротора для ее последующего сравнения с результатами последующих проверок. Кроме того, очень важно учитывать все элементы, закрепленные на валу, поскольку они могут отразиться на качестве балансировки и на реакции ротора.

Для низкочастотной балансировки ротора и снижения вибрации используется поэтапная сборка и балансировка ротора после каждого этапа.

Данный метод много раз использовался подразделением Sulzer Turbo Services для ремонта роторов, в истории эксплуатации которых видны проблемы с вибрацией.

Однако даже поэтапная сборка и балансировка не обеспечивают плавность работы полностью собранного ротора, поскольку при этом не учитываются вибрации, вызванные возбуждением системы по мере ее ускорения свыше критической скорости и до ее рабочей скорости.

В ходе технической проверки ротора целесообразно проверять грузы, добавленные для корректировки неизбежного дисбаланса ротора.

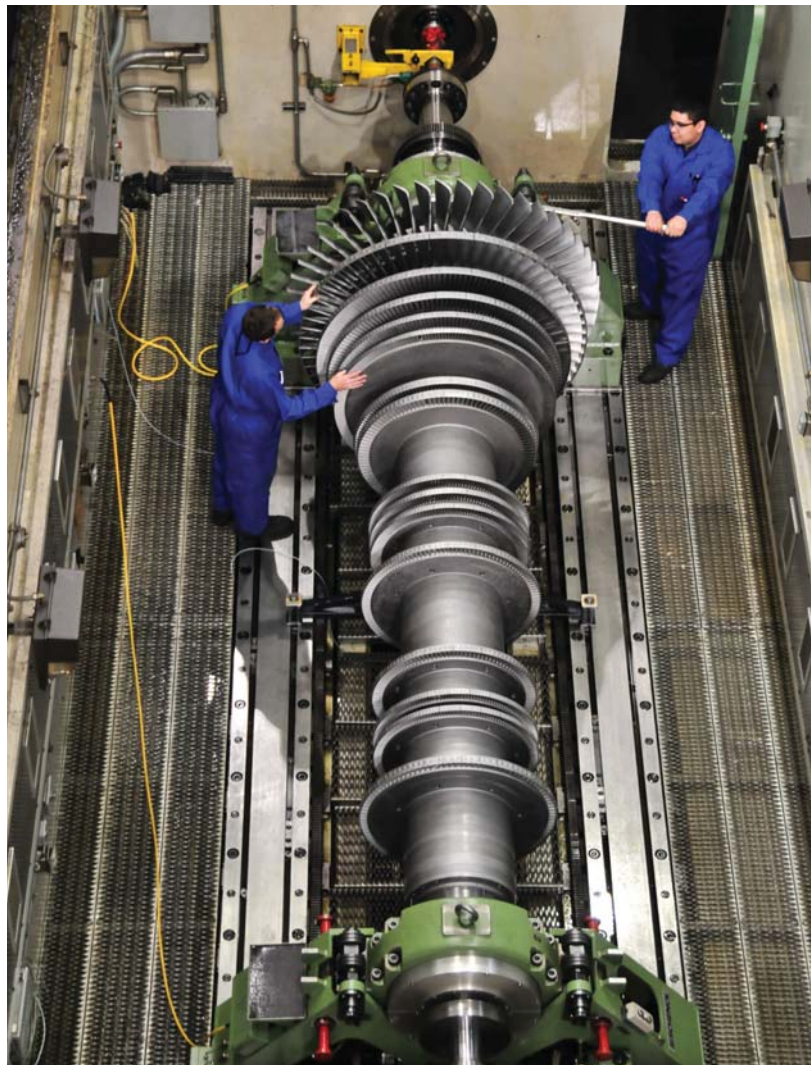
Задача любого процесса балансировки заключается в использовании минимального количества грузов для корректировки дисбаланса ротора.

Работа при скоростях выше первой критической скорости

Многие высокоскоростные гибкие роторы работают при скорости, превышающей первую критическую скорость. Для таких роторов очень важно исправить реакцию на дисбаланс на первой критической скорости по двум причинам:

- Дисбалансная сила и возникающие отклонения вала могут быть настолько опасными, что ротор не пройдет первую критическую скорость или заденет уплотнители вала. Даже при минимальном контакте между валом и уплотнителями произойдет увеличение зазора уплотнителя и снижение эффективности всей установки. Это также создаст локальный нагрев вала, который способствует усилению отклонения на первой критической скорости и может привести к постоянному изгибанию вала.

4 *Высокоскоростная паровая турбина, типичный пример высокочастотной балансировки*



- При включении и выключении ротор может слишком долго оставаться на первой критической скорости, даже если скорости ускорения и замедления контролируются, и это может привести к существенному повреждению установки.

Балансировка на рабочем месте по сравнению с балансировкой на рабочей скорости

Ротор можно достаточно эффективно балансировать на месте установки внутри его корпуса и с его системой подшипников.

Тем не менее, ограничивающим фактором может стать сложный доступ к балансировочным плоскостям.

Некоторые машины позволяют решить эту проблему за счет добавления одного или нескольких смотровых отверстий на каждой из двух торцевых панелей, что позволяет устранить необходимость снятия всей половины верхнего кожуха.

Однако, если точка дисбаланса находится вне зоны смотрового отверстия, корректировка на торцевых панелях будет лишь компромиссом. Если доступ к ротору невозможен, то весь верхний кожух – или его части – придется снимать и снова устанавливать на место после каждого этапа балансировки.

Обычно для качественной балансировки требуется не менее пяти запусков.

Балансировка на половине блока ротора

В некоторых исключительных случаях подразделение Sulzer Turbo Services проводило балансировку ротора на месте его установки на половине блока ротора, то есть со снятой верхней половиной кожуха, снятыми нижними полукольцами уплотнения и собранными подшипниками.

Ротор паровой турбины в таком случае обычно разгоняется воздухом, продуваемым через форсунку. Когда ротор разогнан до необходимой скорости, снимаются соответствующие показания.

В случае работы с крупногабаритной турбиной с механическим приводом для разгона ротора и получения необходимых показаний используется ведущий привод; однако количество допустимых пусков привода в день ограничено, поэтому такая процедура занимает довольно много времени.

Вращающийся элемент на месте установки

Балансировка вращающегося элемента на месте его установки связана с серьезными рисками и затратами. Всякий раз, когда снимается кожух, существует вероятность попадания в турбину посторонних предметов или повреждения какой-либо детали. Поскольку большинство машин являются частью какого-либо технологического процесса, такой процесс следует запускать и

прекращать много раз для достижения соответствующего уровня балансировки.

Представьте, что вам придется просить оператора ядерной установки вставлять и извлекать топливные стержни раз шесть или более в течение четырех или пяти дней, чтобы вы смогли выполнить какие-либо технические процедуры, которые на самом деле должны выполняться в цеху, в контролируемой среде, на соответствующем оборудовании, во время запланированных остановов.

Более того, балансировка на месте установки заставит пользователя отрегулировать реакцию ротора так, чтобы компенсировать комбинированный эффект всех невращающихся элементов (таких, как несовпадение с осью, резонанс фундамента, резонанс трубопроводов).

Если ротор вращается внутри кожуха с нежелательными вибрациями и после проведения скоростной балансировки, возможно проблема кроется не в роторе. В этом случае необходимо проверить всю систему и устранить выявленные недостатки.

Допустимые уровни дисбаланса

Очевидно, что лучше всего - отсутствие дисбаланса, но его достижение зачастую экономически невыгодно. Было проведено множество дискуссий по поводу допустимых уровней дисбаланса и в результате был выбран общий уровень на основании промышленных стандартов для различных типов машинного оборудования. Для скоростной балансировки Американский Нефтяной Институт (API) требует достижения уровня дисбаланса не более 1 мм/сек, или 7400 об/мин.

Возвратные инвестиции

Сложно представить себе более тяжелые времена для инженера, обслуживающего вращающееся оборудование, для руководителя центра технического обслуживания или директора по эксплуатации, чем ситуация, когда основной элемент какого-либо технологического процесса не запускается в нужное время, не работает или теряет работоспособность между ремонтами.

В этом случае, производственные потери в сочетании с расходами на исправление возникших неполадок достигают очень высокого уровня.

Динамические методы балансировки на месте установки, разработанные компанией Sulzer, помогут вам сэкономить и время, и деньги, по сравнению с общепринятыми методами ремонта на местах.

Шон Уэст (Shaun West)

Sulzer Turbo Services
Zürcherstrasse 12
8401 Winterthur
Switzerland
Тел.: +41 52 262 34 44

5 Блок ротора газовой турбины, установленный на стенд. Компрессор и участки турбины скреплены болтами

